



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL
CURSO DE AGRONOMIA



**PERDAS DE FÓSFORO POR LIXIVIAÇÃO EM NEOSSOLO REGOLÍTICO ADUBADO
COM ESTERCO BOVINO CURTIDO EM CONDIÇÕES SEMIARIDAS**

MARIANNE COSTA DE AZEVEDO

AREIA – PB

JULHO - 2018

MARIANNE COSTA DE AZEVEDO

**PERDAS DE FÓSFORO POR LIXIVIAÇÃO EM NEOSSOLO REGOLÍTICO
ADUBADO COM ESTERCO BOVINO CURTIDO EM CONDIÇÕES SEMIARIDAS**

Trabalho apresentado ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) – Campus II, como requisito básico para a obtenção do título de Agrônoma.

ORIENTADORA: PROF. DRa VÂNIA FRAGA DA SILVA

COORIENTADOR: Mrs. KALLINE DE ALMEIDA ALVES CARNEIRO

AREIA – PB

JULHO – 2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A994p Azevedo, Marianne Costa de.

PERDAS DE FÓSFORO POR LIXIVIAÇÃO EM NEOSSOLO REGOLÍTICO
ADUBADO COM ESTERCO BOVINO CURTIDO EM CONDIÇÕES
SEMIÁRIDAS / Marianne Costa de Azevedo. - Areia - PB,
2018.

36 f.

Orientação: Vânia da Silva Fraga Fraga.
Monografia (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Deslocamento miscível de P; Formas de Ferro e Alum.
I. Fraga, Vânia da Silva Fraga. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

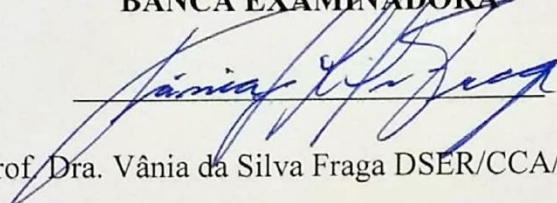
MARIANNE COSTA DE AZEVEDO

**PERDAS DE FÓSFORO POR LIXIVIAÇÃO EM NEOSSOLO REGOLÍTICO
ADUBADO COM ESTERCO BOVINO CURTIDO EM CONDIÇÕES
SEMIARIDAS**

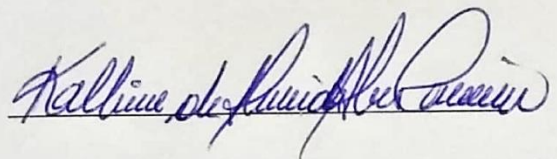
MONOGRAFIA APROVADA EM: 06/07/2018

NOTA: 9,5

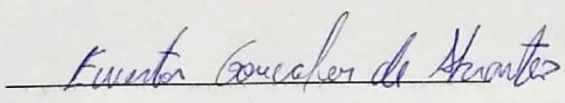
BANCA EXAMINADORA


Prof. Dra. Vânia da Silva Fraga DSER/CCA/UFPB

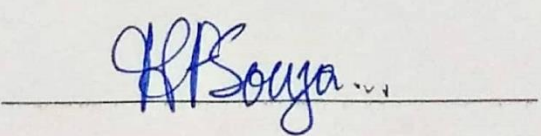
Orientadora


Ms. Kalline de Almeida Alves Carneiro (Doutoranda do PPGCS/ UFPB)

Coorientadora


Msc. Ewerton Gonçalves de Abrantes (Doutorando do PPGCS/CCA/UFPB)

Examinador


Dr. Tancredo Augusto Feitosa de Souza (PNPD /PPGCS/CCA/UFPB).

Examinador

DEDICATÓRIA

A Deus por sua imensa bondade;

*A meus amados pais Alcindo e Jucineide, e a
minha irmã Ana Julia;*

*E a todos aqueles que me ajudaram a
conquistar o meu sonho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter colocado tantos anjos no meu caminho.

A minha mãe Jucineide, por todo amor e dedicação. Muito obrigada por ser essa mãe incrível, e por esta sempre ao meu lado, me dando forças para que eu continuasse lutando pelos meus sonhos. Meu amor por você é maior que o céu.

Ao meu pai Alcindo pelo carinho, educação e valores ensinados. Obrigada por me ensinar a ser uma mulher forte e independente, a sempre correr atrás dos meus objetivos. Obrigada por ter sempre me incentivado a estudar. Esta vitória também é sua.

A minha irmã Ana Julia por fazer os meus dias mais felizes, e por sempre me mandar mensagens de apoio, sempre demonstrar o quanto você sentia orgulho de mim.

A minha orientadora Prof. Dra. Vania, por ter me recebido de braços abertos. Obrigada pela oportunidade, apoio, confiança e carinho.

A minha coorientadora Dra. Kalline, por toda paciência e os ensinamentos passados. Obrigada pelo carinho, amizade e conselhos compartilhados.

A toda minha família meus queridos tios e tias aos meus primos e primas pelo carinho e apoio dados ao longo desses 5 anos. Em especial Tia Lúcia e Tio Jacinto por terem cuidado tão bem de mim sempre que eu precisava ir a Patos – PB para prestar vestibular. Aos meus amados avós Dona Joana e Seu Nino por serem sempre tão carinhosos e amorosos.

A todos que fazem parte do Laboratório de Matéria Orgânica por todos os bons momentos compartilhados e pela ajuda concedida especialmente a Prof. Dr. Bruno, Julia Eudocia, Belchior, André, Adilson, Liliane, Daniel, Ewerton Abrantes e tantos outros.

A todos os amigos que conheci em Areia – PB; aos colegas de turma pelas risadas e pelo companheirismo, especialmente a Matheus Elysio, Flaviano, Camilo. As minhas companheiras de quarto Hemmelly e Ellen.

A Elinaldo por todo carinho, ajuda e compreensão dados ao longo desses cinco anos.

Aos queridos amigos Daiane Ferreira, Claudia Rejane, Nei, Lisiane, Lamoniely, Charles, Raiane, Arthur, Franciely, tantos outros por sempre estarem presentes em minha vida mesmo estando tão distantes, obrigada por todas as palavras de conforto, carinho e afeto.

A banca avaliadora, Dr. Tancredo e Mrs. Ewerton pela ajuda e pelas valiosas contribuições.

A UFPB – CCA pela oportunidade de me formar em agronomia;

A todos os meus professores desde o jardim de infância até a graduação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. GERAL.....	2
2.2. ESPECÍFICO.....	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	2
3.1. Ciclo formas e liberação do P.....	2
3.2. Sorção de fósforo no solo	3
3.3. Adubação orgânica e agricultura familiar	5
3.4. Relação textura e deslocamento miscível de nutrientes no solo.....	6
4. MATERIAL E MÉTODOS	7
4.1. Caracterização das áreas de coleta.....	7
4.2. Caracterização química e física	9
4.3. Preenchimento das colunas com solo e deslocamento miscível de P.....	9
5. RESULTADO E DISCUSSÃO	11
6. CONCLUSÕES.....	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
ANEXOS	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Principais formas de entrada e saída do fósforo no solo. (LOPES 1998)

Figura 02 Valores de pH do solo em quatro amostras de solo submetidos a diferentes frequências e uso de esterco bovino curtido em Neossolo Regolítico, Esperança, PB, Brasil.

Figura 04: (a) Teores de P extraído com Melich – 1. (b) Teores de P extraído com água, em quatro amostras de solo submetidos a diferentes frequências e uso de esterco bovino curtido em Neossolo Regolítico, Esperança, PB, Brasil.

Figura 03: (a) Teores de Alumínio extraído com ditionito; (b) Teores de Ferro extraído com ditionito; (c) Teores de Alumínio extraído com oxalato; (d) Teores de Ferro extraído com oxalato, em amostras de solo adubadas com esterco bovino curtido.

Figura 04: Perda total de fósforo durante o ensaio de lixiviação nos diferentes ambientes estudados submetidos a diferentes frequências e uso de esterco bovino curtido em Neossolo Regolítico, Esperança, PB, Brasil.

Figura 05 Deslocamento miscível de fosforo em diferentes ambientes estudados submetidos a diferentes frequências e uso de esterco bovino curtido em Neossolo Regolítico, Esperança, PB, Brasil.

Figura 06 Correlações entre o teor de P_{lix} e os teores de formas de Fe e Al. (a) correlação P_{lix} e teor de Fe_{ox} . (b) correlação P_{lix} e Al_{ox} . (c) correlação P_{lix} e Fe_{di} . (d) correlação P_{lix} e Al_{di} .

Figura 07: Ensaio do deslocamento miscível de fósforo. 1: Solução salina de CaCl e KCl 0,001M ; 2: Coluna acrílica preenchida com solo; 3: Bomba peristáltica IPC Ismatec; 4: Coletor de fração.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Caracterização das áreas de coleta de solo no município de Esperança, Paraíba, Brasil.

Tabela 02: Caracterização das colunas para ensaio de lixiviação com quatro amostras de um Neossolo Regolítico com diferentes manejos de adubação com esterco bovino.

Tabela 03: Composição químicas do esterco bovino utilizado nas áreas estudadas.

Tabela 04: Caracterização química de quatro amostras de um Neossolo Regolítico arenoso com diferentes manejos de adubação com esterco bovino.

Tabela 05: Caracterização física de quatro amostras de um Neossolo Regolítico arenoso, com diferentes manejos de adubação com esterco bovino.

AZEVEDO, Marianne Costa de. **PERDAS DE FÓSFORO POR LIXIVIAÇÃO EM NEOSSOLO REGOLÍTICO ADUBADO COM ESTERCO BOVINO CURTIDO EM CONDIÇÕES SEMIARIDAS**. Areia – PB, 2018. 36 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade Federal da Paraíba.

RESUMO

O fosforo (P) é considerado como sendo um nutriente imóvel no solo, isso porque o P liga-se fortemente aos oxihidroxidos de Fe e Al. Porém foi observado que solos arenosos sofrem com a lixiviação de P. Objetivou-se avaliar a perda de P em amostras de um Neossolo Regolítico adubado e não adubado com esterco bovino curtido, e relacionar as perdas de P com as formas de Fe e Al. Foram coletadas quatro amostras de solo adubado e não adubado com esterco bovino curtido na profundidade de 0 - 10 cm no município de Esperança – PB. Após a coleta foram feitas análises de fertilidade do solo, incluindo P extraído com Mehlich – 1 e P extraído com água, Fe e Al extraído com oxalato de amônio e ditionito – citrato e bicarbonato. O ensaio de lixiviação foi realizado através do método de deslocamento miscível utilizando colunas acrílicas com 55,50 cm³ e 10 cm de altura preenchidas com solo e uma solução salina de KCl e CaCl a 0,001M para a lixiviação. Observou-se que nas quatro amostras estudadas todas tinham teor de P extraído com Mehlich – 1 acima de 15 mg kg⁻¹. A área A2 teve o maior teor de Pw (14,45 mg kg⁻¹) e Pext (54,50 mg kg⁻¹), esta mesma área teve a maior perda de Plix (128,83 mg L⁻¹). A correlação entre Plix e as formas de Fe e Al foram todas não significantes. O Plix teve maior correlação com as formas mais cristalinas de Fe e Al. A maior perda de P foi observada até 20 NVp este valor corresponde a aproximadamente 800 mm de lâmina d'água.

Palavras – chave: Deslocamento miscível de P; Formas de Ferro e Alumínio; Sorção de P

AZEVEDO, Marianne Costa de. **POTENTIAL OF PHOSPHORUS LOSSES IN REGOLYTIC NEOSOLO IN FAMILY FARMING AREAS IN THE SEMIÁRID PARAIBANO.** Areia - PB, 2018. 41 p. Monograph (Graduation in Agronomic Engineering) - Federal University of Paraiba

ABSTRACT

Phosphorus (P) is considered to be a soil-immobile nutrient, because P strongly binds to Fe and Al oxyhydroxides. However, it was observed that sandy soils suffer from P leaching. The objective of this study was to evaluate the loss of P in samples of a Regolitic Neosol fertilized and not fertilized with tanned bovine manure, and to relate the losses of P with Fe and Al forms. Four samples of soil fertilized and not fertilized with bovine manure tanned in the depth of 0 - 10 cm in the municipality of Esperança - PB. After collection, soil fertility analyzes were carried out, including P extracted with Mehlich - 1 and P extracted with water, Fe and Al extracted with ammonium oxalate and dithionite - citrate and bicarbonate. The leaching test was performed by the miscible displacement method using 55.50 cm³ and 10 cm high acrylic columns filled with soil and a salt solution of KCl and 0.001 M CaCl for leaching. It was observed that in the four samples studied all had P content extracted with Mehlich-1 above 15 mg kg⁻¹. The area A2 had the highest content of P_w (14.45 mg kg⁻¹) and P_{ext} (54.50 mg kg⁻¹), this same area had the loss of P_{lix} (128.83 mg L⁻¹). The correlation between P_{lix} and Fe and Al forms were not all significant. P_{lix} had higher correlation with the more crystalline forms of Fe and Al. The highest loss of P was observed up to 20 NVp this value corresponds to approximately 800 mm of water sheet.

Keywords: Miscible displacement of P; Iron and Aluminum Forms; Sorption of P

1. INTRODUÇÃO

Solos de textura arenosa são mais propensos a sofrerem com a perda de nutrientes por lixiviação, uma vez que esses solos possuem baixos teores de argila e maior quantidade de macroporos o que aumenta a capacidade de infiltração de água desses solos (SCOPEL et al., 2013). O fósforo (P) tem alta capacidade de interação com os oxihidróxidos de Fe e Al, fazendo com que este nutriente seja considerado imóvel em algumas classes de solo. Porém solos arenosos possuem baixos teores de argila e oxihidróxidos de Fe e Al nesse caso a retenção de P pelo solo será menor o que pode acarretar de a perda de P por lixiviação, ocasionando o empobrecimento da camada superior do solo, e deslocando o P para camadas mais profundas do solo podendo inclusive contaminar lençóis freáticos, tornando a água inviável para o consumo humano ou irrigação (TOOR et al., 2015).

Solos adubados continuamente com esterco bovino curtido tendem a acumular nutrientes, principalmente na camada superficial do solo, onde há a maior taxa de atividade microbiana e consequente mineralização dos nutrientes presentes no esterco (GALVÃO et al 2008). Devido as características físicas dos solos da região do Agreste Paraibano, juntamente com a adubação contínua das áreas de cultivo com esterco bovino curtido, estima-se que parte do P presente na camada superficial do solo possa ser lixiviado.

A adubação orgânica com esterco bovino curtido é eficiente para aumentar a produtividade das lavouras de agricultura familiar da região do Agreste Paraibano, como é apresentada no estudo de Borchardt (2011). Porém para que os níveis de P no solo não ultrapassem o exigido pelas culturas, é necessário que se conheça a fertilidade do solo e a composição química do esterco utilizado (MENEZES et al 2007).

A literatura científica sobre a lixiviação de P é escassa, uma vez que a maioria dos artigos e livros tratam do P como um nutriente imóvel no solo, porém estudos realizados em solos arenosos por Oliveira (2011), Gebrim (2010), Galvão et al (2008), observaram a presença de P em camadas mais profundas do solo (40 – 60 cm) indicando que este nutriente é translocado das camadas superficiais para as camadas mais profundas, estes trabalhos ressaltam a importância de novos estudos sobre a mobilidade do P em solos arenosos adubados com esterco bovino curtido.

2. OBJETIVOS

2.1.GERAL

Avaliar a perda de fósforo por lixiviação de um Neossolo Regolítico em amostras adubadas e não adubadas com esterco bovino curtido, em áreas de agricultura familiar no município de Esperança, Paraíba, Brasil.

2.2.ESPECÍFICO

Correlacionar o P lixiviado com os teores de formas de Fe e Al em amostras de solo adubadas e não adubadas com esterco bovino curtido.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1.Ciclo formas e liberação do P

O fósforo presente no solo pode ser de origem inorgânica ou orgânica. O P inorgânico tem origem de minerais fosfatados principalmente a apatita, que é liberado no solo lentamente durante o processo de intemperização da rocha. Já o P orgânico é oriundo da decomposição de resíduos orgânicos vegetais ou animais. Estima-se que de 5% a 80% do P presente no solo é orgânico, fazendo com que a dinâmica do P dependa de fatores ambientais que afetam a atividade microbiana como o pH do solo, disponibilidade de água, temperatura, aeração do solo entres outros fatores, além de propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo (SANTOS, 2008).

No solo o P pode ser classificado em frações: solúvel, lábil e não lábil. A fração solúvel compreende todo o P dissolvido na solução do solo e está disponível a absorção por parte dos vegetais, já na fração lábil o P está em equilíbrio rápido com a fração solúvel, pois o P está adsorvido fracamente na superfície dos colóides. A maior parte do P inorgânico presente no solo encontra-se na fração não lábil, que são compostos não solúveis, porém são lentamente transformados em frações lábeis (RAIJ, 1991; SANTOS, 2008).

Como todo e qualquer nutriente o P tem suas entradas e saídas do solo, uma das principais entradas de P no solo é através do incremento de fertilizantes comerciais, fertilizantes orgânicos (estercos, compostagem, biofertilizantes). Os minerais do solo podem funcionar como entrada ou saída de P, funcionam como entrada quando há

intemperismo do mineral e liberação de íons fosfatados, e exerce a função de saída quando os minerais sorvem (fixam, adsorvem ou precipitam) o P presente no solo. Os microrganismos também funcionam como saída e entrada de P, utilizando o nutriente para o seu metabolismo imobilizando-o temporariamente e liberando o P na lise celular com a morte das células, respectivamente; as principais saídas no nutriente são perdas por lixiviação ou erosão e remoção pelas culturas (LOPES, 1998)



Figura 01: Principais formas de entrada e saída do fósforo no solo. (LOPES 1998)

Para que se tenha uma boa produtividade das lavouras é necessário adicionar fontes externas de P ao solo, pois os solos tropicais têm um baixo teor de P nativo. Entretanto o excesso de adubação orgânica ou inorgânica no solo, aumenta a concentração de P no solo, favorecendo a perda de P por lixiviação ou por erosão (RAIJ, 1991). Para proteger e melhorar a qualidade das águas tanto superficiais quanto subterrâneas, é necessário controlar a aplicação de fontes de fósforo orgânico e inorgânico, isto porque o P é um dos principais nutrientes responsáveis pela contaminação da água (OLIVEIRA, 2010).

3.2.Sorção de fósforo no solo

É chamada de sorção toda e qualquer interações que ocorrem entre os íons de fosfato e a fase sólida do solo (matéria orgânica, argilosilicatos, óxidos e hidróxidos). A sorção pode ser dividida em adsorção, fixação e precipitação, a diferença entre cada uma delas e a natureza e energia dessas interações. Adsorção é um tipo de ligação mais instável, ocorre com a formação de complexos de esfera externa com a presença de água interpondo a ligação, como por exemplo, a adsorção aos oxihidroxidos de ferro e

alumínio. Com a retirada da molécula de água da adsorção surge a fixação, que antes era de esfera externa e com a desidratação se tornou uma ligação de esfera interna e de maior energia de ligação, a fixação do P ocorre com o aumento do tempo de contato entre o fósforo e os oxihidroxidos de Fe e Al. Já a precipitação ocorre quando há reações químicas do íon fosfato no solo e há formação de um novo produto de composição definida e baixa solubilidade, a exemplo de fosfatos de cálcio, ferro e alumínio (MEURER, 2010; NOVAIS, 2007; SOUZA, 2006).

Segundo o Machado (2011) existem alguns fatores que afetam a disponibilidade de P para as culturas, são eles: textura do solo e quantidade e tipo da argila uma vez que solos argilosos e com alto teor de oxihidroxidos de Fe e Al sorvem mais P; época de aplicação do P pois quanto maior o tempo de contato do P com as partículas do solo menor será a disponibilidade do nutrientes as plantas; aeração, compactação e umidade do solo visto que a compactação e excesso de umidade reduz a aeração do solo, que é fundamental para a decomposição da matéria orgânica; pH do solo pois além de afetar a atividade microbiana do solo, as formas mais solúveis de P estão entre 5,5 e 7,0.

Solos intemperizados possuem grandes quantidades de oxihidroxidos de Fe e Al devido a perda de sílica, esses oxihidroxidos possuem uma elevada superfície específica e alta capacidade máxima de sorção de P, dessa forma o solo age como dreno, pois fixa parte do fósforo adicionado ao solo. Já os solos pouco intemperizados como o neossolo, são mais ricos em minerais primários e contém baixos teores de argila e oxihidroxidos de Fe e Al, teoricamente atuam no papel de fonte. Em solos argilosos e de topografia pouco acentuada, a perda de P é observada principalmente por erosão (as partículas de solo são carregadas de locais mais altos para locais mais baixos) devido a adsorção do nutriente aos oxihidroxidos de Fe Al (TARKALSON 2009; ROLIN NETO 2004; NOVAIS & SMYTE 1999).

Solos com menor capacidade de sorção de P geralmente apresentam problemas com perda de nutrientes, pois estes solos possuem maior teor de P-solúvel o que permite a livre movimentação do nutriente na solução do solo, estando susceptível a perda por lixiviação. Já os solos com maior capacidade de sorção de P apresentam uma reserva significativa do nutriente, fato que é de grande importância para o suprimento mineral da fração lábil e solúvel do solo (PINTO, 2012). Quanto maior for o tempo de contato do fósforo com o solo, maior será a energia de ligação do nutriente com a fase sólida do solo, tornando o elemento cada vez menos disponível a solução do solo (OLIVEIRA, 2017).

3.3. Adubação orgânica e agricultura familiar

A velocidade da decomposição dos resíduos orgânicos e consequente mineralização do P pelos microrganismos, depende diretamente do quão lignificado é este material. Portanto, quanto mais lignificado for o material orgânico mais lento será a sua decomposição, por outro lado os materiais pouco lignificados são de mais fácil e rápida decomposição, permanecendo por pouco tempo no solo. Para que haja um acúmulo de P no solo, tanto na forma orgânica quanto inorgânica, é necessário a adição frequente de resíduos orgânicos no solo (LIMA, 2012).

A agricultura familiar é caracterizada por propriedades rurais que utilizam apenas a mão de obra dos integrantes da família, geralmente são propriedades com uma pequena área de produção de até quatro módulos fiscais, e com alta diversidade na produção produzindo desde hortaliças, frutíferas, grãos e forragem para os animais e criação de animais. O cultivo é realizado apenas nos meses mais chuvosos do ano, algumas propriedades optam pelo cultivo consorciado que consiste em plantar duas ou mais espécies simultaneamente na mesma área. A princípio toda a produção é destinada para o autoconsumo da família, apenas em anos de alta produtividade os agricultores vendem o excedente. (ARAÚJO et al., 2012).

Sabe-se que os solos da região do agreste paraibano são pouco férteis e que o regime de chuvas na região é irregular, fatores que limitam a produtividade das lavouras, nesta região predomina a agricultura familiar. Devido a alta variabilidade da precipitação, alto custo de aquisição de fertilizantes químicos, e o baixo poder de aquisição das famílias, o uso do esterco bovino tem sido uma solução viável para aumentar a fertilidade do solo e conseguir uma colheita mais satisfatória (GALVÃO & SALCEDO, 2008).

Ao ser aplicado no solo o esterco bovino promove melhorias nas propriedades químicas fornecendo ao solo boas quantidades de N, P, K e aumentando a CTC do solo; propriedades físicas reduzindo a evaporação e aumentando o armazenamento de água no solo; propriedades biológicas favorecendo a multiplicação de microrganismos benéficos no solo (NASCIMENTO 2015), promovendo o aumento da fertilidade do solo, devido a isso muitos estudos têm sido realizados para comprovar o aumento significativo da produtividade de culturas submetidas a adubação orgânica com esterco bovino.

Segundo Galvão e Salcedo (2008) a aplicação contínua de esterco bovino em áreas agricultáveis pode modificar as características químicas do solo, elevando o pH e

tornando o solo mais fértil. No mesmo estudo os autores verificaram a migração dos nutrientes, sobretudo o P, das camadas mais superficiais para as camadas mais profundas do solo chegando até 60 cm de profundidade. Boa parte do P presente no esterco bovino se encontra na forma inorgânica, e a outra parte na forma orgânica, e ambas as formas de P podem ser lixiviadas para camadas mais profundas do solo. Além disso os agricultores não sabem ao certo a quantidade de esterco que adicionam ao solo, e também não tem conhecimento sobre a fertilidade do mesmo, sendo assim a quantidade de insumo aplicada ao solo varia de acordo com a disponibilidade do mesmo na propriedade (OLIVEIRA et. Al. 2011; MENEZES & SALCEDO, 2007).

3.4.Relação textura e deslocamento miscível de nutrientes no solo.

A textura do solo é considerada uma das propriedades mais estáveis do solo, e é um fator importante para determinar a aptidão de um solo, pois a textura de um solo influencia diretamente na quantidade de água armazenada do solo e na disponibilidade dessa água às plantas e aos microrganismos (WHITE, 2009) Segundo Cardoso e Andreote (2016) a água pode ser encontrada no solos em três formas diferentes: água gravitacional ou livre que escoar pelos macroporos, a água capilar é aquela que se encontra no interior dos microporos, e a água higroscópica que está fortemente aderida as partículas do solo desse modo indisponível as plantas.

Solos de textura arenosa possuem uma alta capacidade de infiltração de água, e isto ocorre devido a, esse tipo de solo ter uma maior quantidade de macroporos e menor quantidade de microporos. Dessa forma boa parte da água que infiltra em um solo arenoso irá abastecer os lençóis freáticos. Por possuir uma baixa capacidade de adsorção de nutrientes pelas partículas do solo, a água que se desloca no sentido vertical leva consigo muitos nutrientes que podem atingir e contaminar as águas subterrâneas (SCOPEL et al., 2013).

O Neossolo Regolítico é um solo formado por quartzo com a ocorrência de feldspato, que ocorrem geralmente em relevos planos a ondulados. Apresenta textura arenosa ao longo do perfil, e são solos pouco ou medianamente profundos, normalmente apresenta baixa CTC, baixos teores de carbono orgânico total e P, possuem baixa capacidade de adsorção de nutriente devido a sua textura arenosa, apresentando também baixa capacidade de retenção de água e alta permeabilidade (SANTOS, 2012; SILVA, 2013). A união de alguns desses fatores facilita o processo de lixiviação do solo

principalmente nas épocas chuvosas do ano, que coincidem com a época que os produtores cultivam.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização das áreas de coleta

As amostras de solo foram coletadas no município de Esperança - PB, no Agreste paraibano. O clima se caracteriza como quente e úmido (BRASIL, 1972), com precipitação média anual de 610 mm, temperatura média de 25°C e umidade relativa do ar de 80%, respectivamente (AESAs, 2018).

Foram coletadas quatro amostras de solo com diferentes manejos de adubação, em duas propriedades de agricultura familiar, na profundidade de 0-10 cm, o solo predominante nas áreas selecionadas é o Neossolo Regolítico Eutrófico (Embrapa, 2013), de textura franco-arenosa.

Tabela 01: Caracterização das áreas de coleta de solo no município de Esperança, Paraíba, Brasil.

Áreas amostrais	Histórico		Descrição e Histórico das áreas	Latitude	Longitude	Altitude
A	Área de agricultura familiar, com produção de feijão e erva doce em consorcio. Adubada anualmente com esterco bovino curtido.	A1	Área adubada com esterco bovino curtido dois meses antes da coleta.	06° 59' 08,6" Sul	35° 52' 36,2" Oeste	668 m
		A2	Área não adubada no ano de coleta, mas adubada um ano antes da coleta.	06° 59' 09,8" Sul	35° 52' 35,6" Oeste	661 m
B	Área de agricultura familiar, com produção de feijão e erva doce em consorcio. Área sem nenhum tipo de adubação a mais de cinco anos	B1	Área adubada dois meses antes da coleta.	06° 59' 03,7" Sul	35° 51' 31,8" Oeste	610 m
		B2	Área sem adubação a cinco anos.	06° 58' 07,9" Sul	35° 51' 30,3" Oeste	612 m

4.2. Caracterização química e física

Todas as análises químicas e ensaio de lixiviação foi feito no Laboratório de Matéria Orgânica do Solo, DSER/UFPB. Foram feitas análises químicas para: P_{ext} (P mehlich), P_w (P em água), Ca²⁺; K⁺, Mg²⁺; Na⁺; pH em água, Fe_{ox} (Ferro oxalato), Al_{ox} (Alumínio oxalato), Fe_{di} (Ferro ditionito) e Al_{di} (Alumínio ditionito). Os teores de P e K foram extraídos por meio da solução extratora de Mehlich-1, sendo quantificados por espectrofotometria e fotometria de chama respectivamente; Ca e Mg trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e quantificados por complexometria com EDTA 0,0125M (EMBRAPA, 2017); Os teores de Fe e Al foram extraídos com solução de oxalato de amônio 0,2 mol L⁻¹, e também por solução de ditionito – citrato e bicarbonato ambos determinados por absorção atômica seguindo a metodologia de Schwertmann (1964) e Mckeague e Day (1966). A análise química do esterco bovino foi realizada segundo a metodologia de Tedesco (1995).

Todas as análises físicas foram realizadas no Laboratório de Física do Solo, DSER – CCA, foram feitas análises de Densidade do solo (D_s) pelo método do cilindro volumétrico, densidade de partículas (D_p) pelo método do balão volumétrico, porosidade total (P%) pelo método indireto e Análise granulométrica, pelo método de separação de areia e método do densímetro (EMBRAPA, 2017).

4.3. Preenchimento das colunas com solo e deslocamento miscível de P

O conjunto de transporte de íons é composto por colunas de acrílico com 50,50 cm³, com bases de PVC constituídas internamente com anel de borracha para garantir perfeita vedação do sistema. Na parte superior e inferior da coluna, colocar-se-á uma chapa de latão de 3 mm de espessura perfurada (orifícios com diâmetro de 2 mm) e, em seguida, um filtro de nylon para impedir a perda do solo durante a realização do ensaio.

O conjunto de coluna e base foi pesado antes e depois do preenchimento com solo para a determinação da densidade do solo no interior de cada coluna. As colunas foram preenchidas com solo em camadas de aproximadamente 2 cm, levemente compactada com um bastão de vidro.

As colunas foram preparadas em triplicatas para a camada de 0-10 cm. Após o acondicionamento do solo nas colunas, se iniciava o processo de saturação ascendente lento que durava em torno de 24 horas, utilizando uma solução salina constituída de

cloreto de cálcio (CaCl₂) 0,001 M e cloreto de potássio (KCl) 0,001 M. Após a saturação deu-se início ao processo de deslocamento miscível, utilizou-se uma bomba peristáltica IPC Ismatec, conectada por capilares utilizando a mesma solução salina utilizada na saturação, a vazão média utilizada foi de 2,90 cm³ min⁻¹.

O efluente foi coletado em tubos de ensaio com tempo pré-fixado, foi utilizado um coletor de fração automático Gilson FC206. O fósforo coletado foi quantificado por colorimetria segundo Murphy e Riley (1962). Em todas as colunas foram determinadas as seguintes propriedades: densidades do solo (Ds), densidade de partícula (Dp), porosidade (ε), vazão (Q), e volume de poros (Vp) foi determinado a partir da seguinte equação

$$V_p = V_c * \varepsilon = \pi r^2 h \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right)$$

sendo: Vp = volume de poros do solo na coluna (cm³); Vc= volume da coluna (cm³); ε = porosidade total (cm³ cm⁻³); π = constante igual a 3,14; r = raio do cilindro da coluna; h = altura do cilindro da coluna; Ds = densidade do solo no interior da coluna; Dp = densidade de partículas

A vazão (Q) foi calculada por meio da relação:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Onde: Q = vazão (cm³ h⁻¹); V = volume da solução (cm³); t = tempo (h)

Tabela 02: Caracterização das colunas para ensaio de lixiviação com quatro amostras de um Neossolo Regolítico com diferentes manejos de adubação com esterco bovino.

CARACTERISTICAS	A1	A2	B1	B2
Massa do solo (g)	80,60	81,70	80,40	82,60
Ds (g cm ³)	1,60	1,62	1,59	1,64
Vp (mL)	19,70	19,70	19,70	19,70
ε %	36,68	35,69	37,69	36,69
q (cm min ⁻¹)	14,20	24,70	11,50	14,00
V	32,90	69,30	30,50	39,20
T (min)	19,69	19,69	19,69	19,69

Volume da coluna 50,5 cm -3; Densidade do solo (Ds); Volume de poros (Vp); Porosidade (ε);

Vazão média (q); Velocidade média da água (V); Tempo (T).

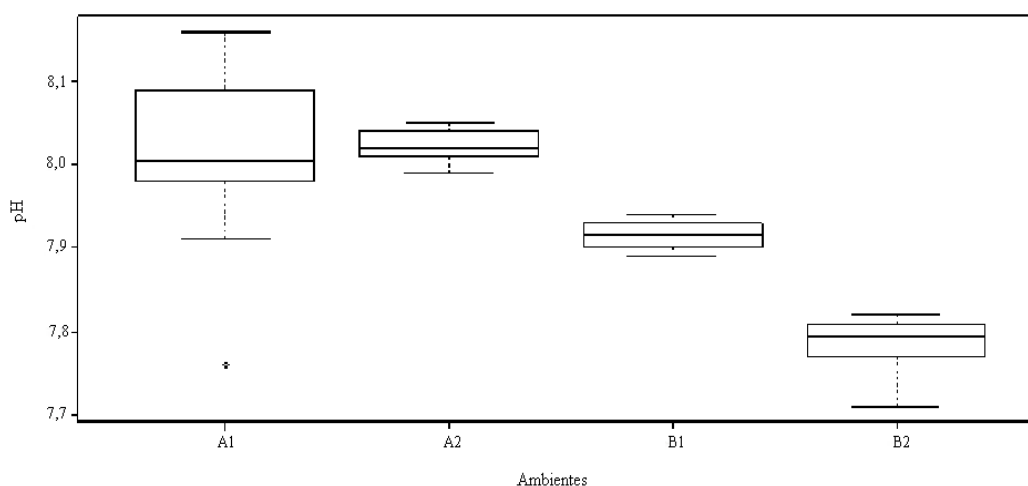
Tabela 03: Características químicas do esterco bovino utilizado nas áreas estudadas.

Amostra	N (g Kg ⁻¹)	K (g Kg ⁻¹)	C (g Kg ⁻¹)	P (g Kg ⁻¹)	C/P (g Kg ⁻¹)
Esterco Bovino	4,78	48,03	67,39	1,04	65,11

Os dados de pH, P_{ext} , P_w , Fe_{ox} , Al_{ox} , Fe_{di} , Al_{di} e P_{lix} foram submetidos a análises estatísticas utilizando o Software – R² pacote Vegam para as permutações. Foram feitas correlações entre as variáveis P_{lix} com Fe_{ox} , Al_{ox} , Fe_{di} , Al_{di} utilizando o programa Sigmaplot versão 11.

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

Observou-se que os valores de pH do solo de todos os tratamentos estudados variaram entre 7,77 e 8,02 indicando alcalinidade mediana (**Tabela 04**). Observou-se que os valores de pH do solo foram mais altos no ambiente A do que no ambiente B. Dentro do ambiente A, não foi observado efeito da aplicação de esterco bovino curtido (12 a 20 Mg ha) sobre variações no pH do solo, enquanto que no ambiente B, observou-se efeito positivo da aplicação de esterco com incremento de 1,67% no pH do solo (**Figura 02**).

**Figura 02** Valores de pH do solo em quatro amostras de solo submetidos a diferentes frequências e uso de esterco bovino curtido em Neossolo Regolítico, Esperança, PB, Brasil.

Os valores de pH do solo na faixa de alcalinidade mediana observados neste estudo não corroboram com os valores de pH acidez mediana (5,6 - 5,8) observados em outros Neossolos (ARRUDA, 2017; E DUARTE 2013; SOUCHIE, 2007). No entanto, estudo desenvolvidos por Duarte (2013), Brito et al (2005), Galvão & Salcedo (2008) relatam que a aplicação de resíduos orgânicos (e.g., manipueira, vinhaça e esterco bovino) promovem incremento do pH do solo. Isto se deve ao fato que resíduos orgânicos independentemente da fonte, são ricos em bases (e.g., Ca, Mg, e K). Souza et al 2007 e Fageria 2001 relacionam o aumento do pH do solo com o incremento de bases no solo.

Com relação aos teores de P_{ext} e P_w , notou-se que o ambiente A possui maiores teores de P_w e P_{ext} (**Figura 03**). Observa-se também que dentro do ambiente A, o tratamento A2 possui maiores teores de P_{ext} (54,50 mg kg⁻¹) e P_w (14,45 mg kg⁻¹) do solo. Dentro do ambiente B, o tratamento B1 dispõe de maiores teores de P_{ext} (45,30 mg kg⁻¹) e P_w (11,52 mg kg⁻¹) (**Figura 02**).

Espera-se que as áreas adubadas no ano de coleta apresentem maiores teores de P_{ext} e P_w . Porém constatou-se que a A2, possui maior teor de P_{ext} e P_w , quando comparada a A1, isto ocorreu devido o tratamento A2 por ser uma amostra que foi adubada um ano antes da coleta de solo, logo supõe-se que os nutrientes foram mineralizados ao longo do ano, uma vez que os nutrientes presentes no esterco bovino são liberados lentamente durante o processo de mineralização, realizada por microrganismos (CARDOSO & ANDREOTE 2016). Já nos tratamentos do ambiente B observa-se que o tratamento B1 possui teores de P_{ext} e P_w (45,30 mg kg⁻¹ e 11,51 mg kg⁻¹, respectivamente) superiores a B2, como são amostras de solo que passaram 5 anos sem adubação e apenas uma delas foi adubada 2 meses antes da coleta, nota-se que durante esse espaço de tempo houve a mineralização dos nutrientes.

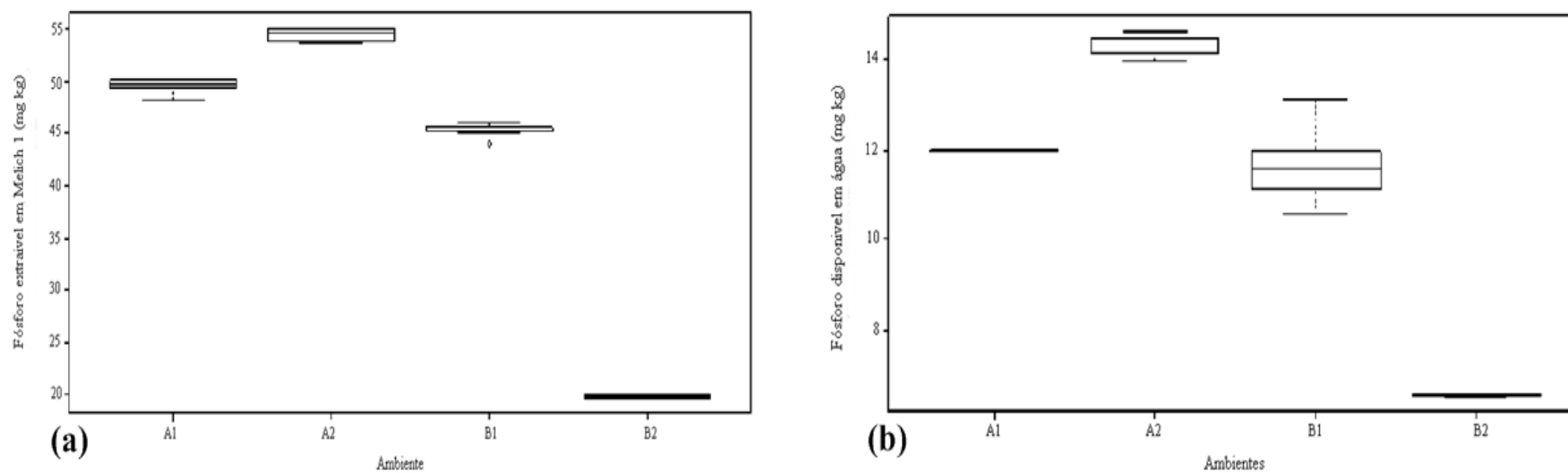


Figura 03 (a) Teores de P extraído com Melich – 1. (b) Teores de P extraído com água, em quatro amostras de solo submetidos a diferentes frequências e uso de esterco bovino curtido em Neossolo Regolítico, Esperança, PB, Brasil.

Em condições naturais o Neossolo Regolítico é uma classe de solo que apresenta baixos teores de P, diferentemente dos teores encontrados no presente trabalho. Estudos realizados por Arruda et al 2017 e Duarte et al 2013, com Neossolo Regolítico, apontam teores de P_{ext} abaixo de 5 mg kg^{-1} , teor este considerado baixo, podendo causar redução da produtividade da lavoura, a quantidade de P_{ext} encontrada nas quatro amostras de solo estudadas são consideradas propícias para o cultivo de culturas perenes e anuais (A1, A2, B1) podendo ser limitante ao cultivo de hortaliças (B2) (PREZOTTI & GUARÇONI, 2013).

Analisando os teores de Al_{di} verifica-se que o ambiente B deteve um maior teor de Al_{di} , B1 com $0,489 \text{ mg kg}^{-1}$ e B2 com $0,736 \text{ mg kg}^{-1}$ (**Figura 04 (a)**). Os teores de Al_{di} dos tratamentos A1 e A2 são semelhantes ($A1 = 0,319 \text{ mg g}^{-1}$ e $A2 = 0,311 \text{ mg g}^{-1}$). Em relação aos teores de Fe_{di} , foi observado que os maiores teores foram encontrados nos tratamentos B1 = $0,781 \text{ mg g}^{-1}$ e B2 = $1,33 \text{ mg g}^{-1}$. Já os teores de Fe_{di} dos tratamentos A1 ($0,511 \text{ mg kg}^{-1}$) e A2 ($0,494 \text{ mg kg}^{-1}$) são semelhantes (**Figura 04 (b)**).

No que se refere aos teores de Al_{ox} (**Figura 04 (c)**), foi observado que os tratamentos A1 ($0,522 \text{ mg kg}^{-1}$) e A2 ($0,317 \text{ mg kg}^{-1}$) possuem maiores teores de Al_{ox} . Entre os tratamentos B1 ($0,316 \text{ mg kg}^{-1}$) e B2 ($0,061 \text{ mg kg}^{-1}$) notou-se uma grande diferença entre os teores de Al_{ox} . Sobre os teores de Fe_{ox} (**Figura 04 (d)**) o tratamento com maior teor de Fe_{ox} foi o A1 ($0,307 \text{ mg kg}^{-1}$), seguido pelos tratamentos B1 ($0,287 \text{ mg kg}^{-1}$); B2 ($0,267 \text{ mg kg}^{-1}$) e A2 ($0,165 \text{ mg kg}^{-1}$).

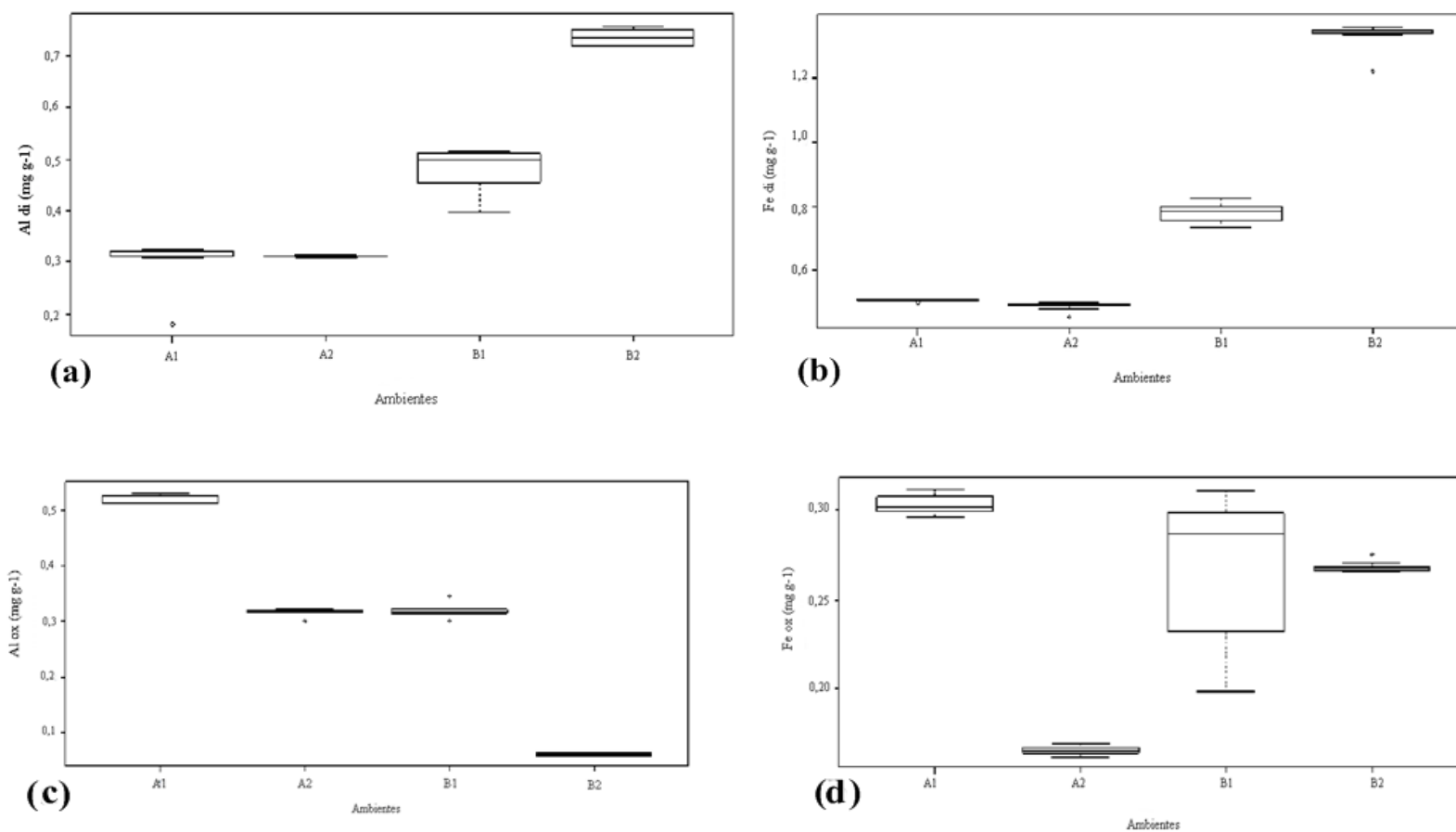


Figura 04: (a) Teores de Alumínio extraído com ditionito; (b) Teores de Ferro extraído com ditionito; (c) Teores de Alumínio extraído com oxalato; (d) Teores de Ferro extraído com oxalato, em amostras de solo adubadas com esterco bovino curtido.

Por se tratar de um Neossolo Regolítico de textura arenosa, com pouca quantidade de argila, este solo possui baixos teores de formas de Fe e Al, estes teores corroboram com os teores de formas de ferro e alumínio encontrados por Santos (2015) ($\text{Fe}_{\text{ox}} = 0,800 \text{ mg g}^{-1}$, $\text{Al}_{\text{ox}} = 1,300 \text{ mg g}^{-1}$, $\text{Fe}_{\text{di}} = 0,500 \text{ mg g}^{-1}$, $\text{Al}_{\text{di}} = 0,900 \text{ mg g}^{-1}$) e Lima (2013) ($\text{Fe}_{\text{ox}} = 0,300 \text{ mg g}^{-1}$, $\text{Al}_{\text{ox}} = 0,150 \text{ mg g}^{-1}$) que também trabalharam com esta mesma classe de solo, sobre as mesmas condições ambientais. Já os solos com maior grau de intemperismo como o Latossolo apresentam altos teores de formas de Fe e Al como é apresentado no estudo de Alleoni (1995).

Em todos os tratamentos, com exceção ao tratamento B2, foi observado eu os teores de Ao_{ox} ($\text{A1} = 0,522 \text{ mg g}^{-1}$; $\text{A2} = 0,316 \text{ mg g}^{-1}$; $\text{B1} = 0,316 \text{ mg g}^{-1}$) foram superiores aos teores de Fe_{ox} ($\text{A1} = 0,307 \text{ mg g}^{-1}$; $\text{A2} = 0,165 \text{ mg g}^{-1}$; $\text{B1} = 0,287 \text{ mg g}^{-1}$) Segundo Vendrame (2011) a substituição isomórfica de Fe por Al nas estruturas dos óxidos de Fe, e responsável pelos maiores teores de óxidos de Al em relação os óxidos de Fe. Segundo este mesmo autor os óxidos de Fe com baixa cristalinidade como é o caso do Fe_{ox} possuem maior superfície específica, ocasionando uma maior interação com os íons de ortofosfato.

Ferreira (2007) avaliou a ocorrência de formas de Fe em um Neossolo Litólico sob diferentes sistemas de uso e observou que não houve variação dos teores de Fe_{ox} e Fe_{di} entre a área de floresta e a área de lavoura, porém na área de pastagem foi observado os menores teores de Fe_{ox} e Fe_{di} , que segundo o autor foi ocasionado pelo baixo teor de argila na área, devido ao processo erosivo no solo da pastagem, evidenciando a relação entre os teores de Fe_{ox} e Fe_{di} e o teor de argila do solo, como também é relatado no trabalho de Lorenzon (2011).

Nas perdas de P notou-se que o tratamento com maior perda de P foi o A2 com perda total de $\text{P} = 128,83 \text{ mg L}^{-1}$, seguindo dos tratamentos B1 com perda total de $\text{P} = 91,69 \text{ mg L}^{-1}$; A1 com $85,61 \text{ mg L}^{-1}$; e B2 com perda total de $\text{P} = 40,38 \text{ mg L}^{-1}$.

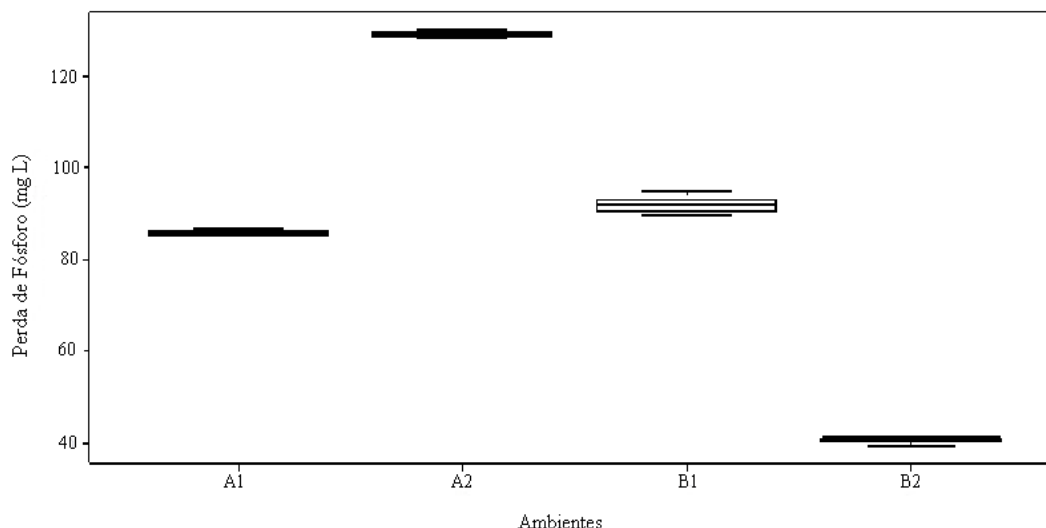


Figura 05: Perda total de fósforo durante o ensaio de lixiviação nos diferentes ambientes estudados submetidos a diferentes frequências e uso de esterco bovino curtido em Neossolo Regolítico, Esperança, PB, Brasil.

Ao se fazer uma comparação entre a **figura 3** que apresenta os teores de P_{ext} (a) e P_w (b), com a **figura 05** que mostra as perdas de P no ensaio de lixiviação, é possível ver que o tratamento com os maiores teores de P_{ext} e P_w , obteve também a maior perda de fósforo, tratamento A2. Da mesma forma que o tratamento com menor perda de P tinha os menores teores de P_{ext} e P_w , tratamento B2. Constatou-se que os tratamentos A1 e B1 continham quantidades de P_w semelhantes (**Figura 3 (b)**), esses mesmos tratamentos apresentam uma pequena diferença em relação aos teores de P lixiviado (**Figura 3 (a)**).

Observa-se na **Figura 06** que, o P_{lix} apresentou correlação não significativa a 5% com os teores de Fe_{ox} , Fe_{di} , Al_{ox} e Al_{di} , supõem-se que outros fatores como pH do solo, teor de argila e mineralogia do solo estejam atuando sobre a adsorção de P no solo. O P_{lix} apresentou correlação negativa com os teores de Fe_{ox} , Fe_{di} e Al_{di} , apresentando correlação positiva apenas com o teor de Al_{di} . Nota-se que o P_{lix} tem maior correlação com as formas de Fe e Al mais cristalinas (Fe_{di} e Al_{di}), semelhante aos resultados encontrados por Vilar (2010) que observou em seu estudo que a adsorção de P no solo esta mais relacionada com as formas mais cristalinas de Fe e Al (Fe_{di} e Al_{di}) do que com as formas menos cristalinas (Fe_{ox} e Al_{ox}).

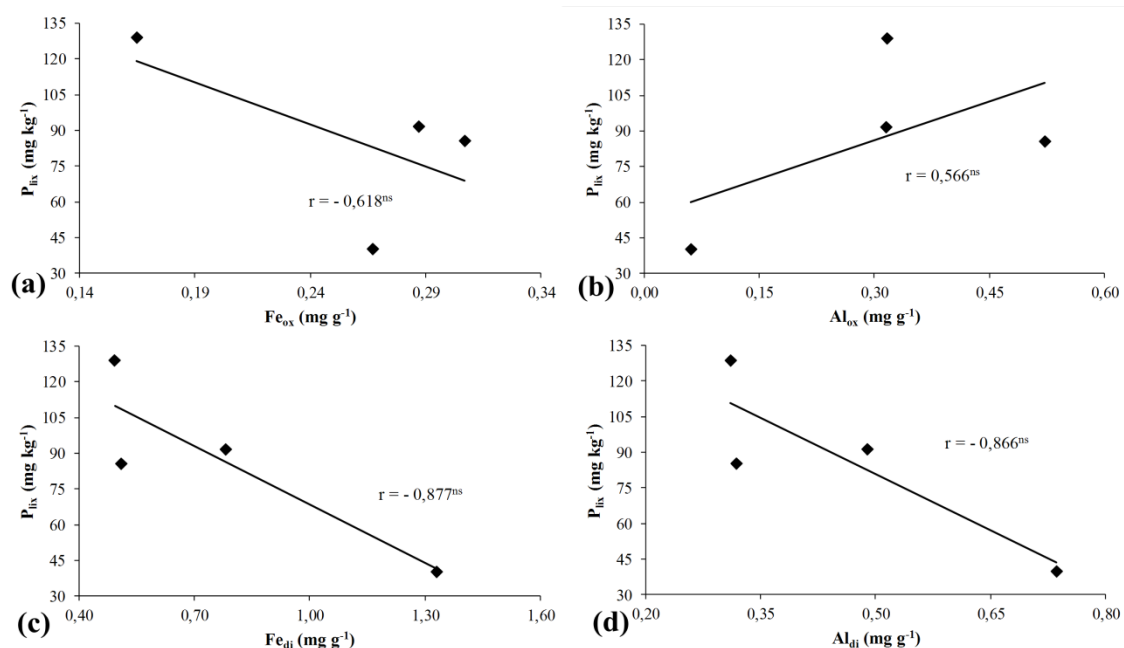


Figura 06 Correlações entre o teor de Plix e os teores de formas de Fe e Al. (a) correlação Plix e teor de Fe_{ox}. (b) correlação Plix e Al_{ox}. (c) correlação Plix e Fe_{di}. (d) correlação Plix e Al_{di}.

Sabe-se que as formas de Fe e Al estão diretamente relacionadas com a adsorção de P no solo, logo solos com alta capacidade de adsorção de P possuem menores perdas de P por lixiviação (LIMA, 2012). Gonçalves (2011) estudou a relação entre a adsorção de P com teores de Mn_{ox}, Mn_{di}, Fe_{ox}, Fe_{di}, teor de argila e de matéria orgânica do solo e concluiu que a adsorção de P pelo solo está mais relacionada com os teores de Fe_{ox} e Fe_{di}. Broggi (2011) estudou quatro amostras de solo com diferentes constituições mineralógicas e concluiu que quanto maior o teor de alumínio no solo maior será a sua capacidade de adsorção de P.

Observa-se na **Figura 07** que em todos os tratamentos A1, A2, B1, B2 a maior parte do P removido durante o ensaio de lixiviação ocorreu até 20 NVp (numero de volume de poros), convertendo este NVp para mm de lâmina d'água, este valor corresponderia a aproximadamente 800 mm de lâmina d'água. Levando em consideração que a precipitação média anual do município onde o solo foi coletado é de 610 mm, estima-se que as chuvas que caem ao longo de um ano podem ser o suficiente para remover parte do P que se encontra na camada 0 – 10 cm. Após o 10 NVp ocorre a redução da velocidade do deslocamento miscível de P.

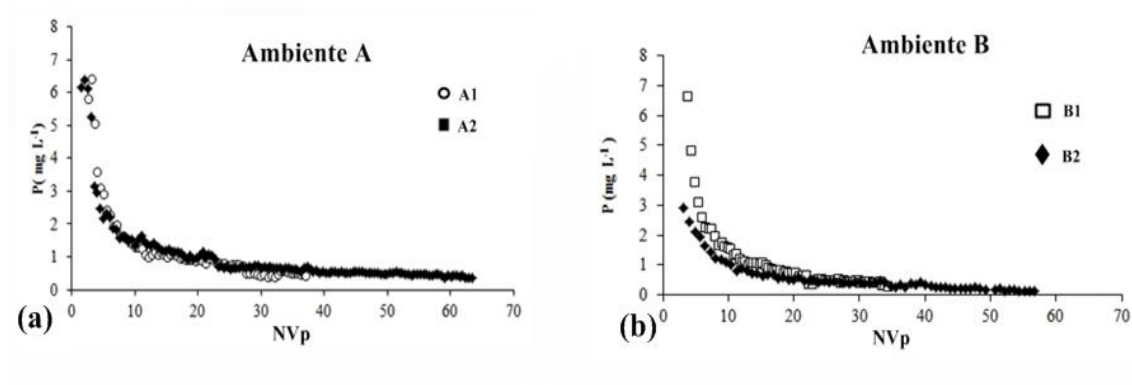


Figura 07 Deslocamento miscível de fosforo em diferentes ambientes estudados submetidos a diferentes frequências e uso de esterco bovino curtido em Neossolo Regolítico, Esperança, PB, Brasil..

Segundo Galvão (2008) o esterco possui P nas formas orgânicas e inorgânicas e ambas as formas podem ser lixiviadas, sendo que o P orgânico é mais passível de perda por lixiviação, pois possui uma menor interação com as partículas do solo. Gebrim (2006) trabalhou com diferentes doses de cama de aviário e concluiu que quanto maior a dose de cama de aviário aplicada ao solo, maior será a perda de P por lixiviação. Bertol (2010) observou que o adubo fosfatado comercial por ser de mais fácil solubilização quando comparado ao adubo orgânico, favorecem a perda de P por lixiviação em um menor espaço de tempo.

Lima (2012) avaliou comparou as perdas de P em um Neossolo Regolítico em amostras de solo de diferentes profundidades, e concluiu que as camadas mais profundas dessa classe de solo possuíam maiores teores de óxidos de Fe e Al, o que fazia com que a perda de P nessas camadas fosse menor do que a perda de P da camada superficial.

6. CONCLUSÕES

A adubação continua de esterco bovino contribuiu para aumentar os teores de P no solo.

No Neossolo Regolítico, o fosforo adicionado ao solo por meio de adubação com esterco bovino curtido, presente na camada de 0-10 cm é susceptível a lixiviação.

A perda de P por lixiviação tem relação negativa com as formas de Fe e Al mais cristalinizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aesa - Agencia Executiva de Gestão das Águas do Estado Paraíba, da. **Monitoramento Pluviométrico**. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/monitoramentoPluviometria.do?metodo=listarChuvadasAnuaisAtual>>. Acesso em: 30 fev. 2018.

ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A. Óxidos de ferro e de alumínio e a mineralogia da fração argila deferificada de latossolos ácricos. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 416-421, Dec. 1995.

ARAUJO, R. O. A. et al. Agricultura às margens da Rodovia BR-230 no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró - Rn, v. 7, n. 3, p.24-32, jul. 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. V. 1. Recife: Sudene, 1973, 359p. (Boletim Técnico, 26).

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. suplemento, 2005.

CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira; ANDREOTE, Fernando Dini. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba - Sp: Esalq, 2016. 218 p.

DUARTE S., Anamaria et al. Alterações dos atributos físicos e químicos de um Neossolo após aplicação de doses de manipueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 9, 2013.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. amp. Brasília: Embrapa Solos, 2013, 342p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Solos do Nordeste**. Recife - Pe: Embrapa Solos, 2014. 16 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília – DF : Embrapa Solos, 2017

GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H.; DE OLIVEIRA, F. F. Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 99-105, 2008.

GEBRIM, F. O. et al. MOBILITY OF INORGANIC AND ORGANIC PHOSPHORUS FORMS UNDER DIFFERENT LEVELS OF PHOSPHATE AND POULTRY LITTER FERTILIZATION IN SOILS. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, p.1195-1205, 2010.

GIRACCA, E. M. N.; NUNES, J. L. da S. **Fertilizantes : Fósforo (P)**. Disponível em:<http://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes_fosforo.aspx>. Acesso em: 27 jan. 2017.

LIMA, P. A. **TRANSPORTE DE FÓSFORO EM SOLO ARENOSO ADUBADO COM ESTERCO BOVINO**. 2012. 85 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-pe, 2012.

LOPES, A. S. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 2. ed. Piracicaba - Sp: Potafos, 1998.

MACHADO, V. J.; DE SOUZA, C. H. E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, 2012.

MENEZES, R. S. C; SALCEDO, I. H. Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.4, p.361-367, 2007.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre, Evangraf, 2010. 4ª ed. 266p.

McKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. **Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils**. Can. J. Soil Sci., 46: 13-22, 1966.

MURPHY, J. & RILEY, J.P. A Modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. **Anal. Chem. Acta**, Oxford, v.27, n.1, p.31-36, 1962.

NASCIMENTO, J. A. M. et al. Macronutrientes na cultura da melancia cultivada em Neossolo com esterco bovino. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife - Pe, v. 10, n. 2, p.224-229, jan. 2015.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, SBCS, 2007. 1017p.

NOVAIS, S. V.; MATTIELL, E. M.; VERGUTZ, L.; MELO, L. C. A.; FREITAS, I. F.; NOVAIS, R. F. Loss of extraction capacity of melhlich-1 and Monocalcium phosphate as a variable of remaining P and its relationship to critical levels of soil phosphorus and sulfur. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.39, p.1079-1087, 2015.

OLIVEIRA, A. A. S. **Efeito da concentração de fósforo da solução de equilíbrio utilizada para análise do fósforo remanescente em solos da região nordeste do Brasil Mossoró**. 2017. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró – RN, 2017.

OLIVEIRA, F. F.; SALCEDO, I. H.; GALVÃO, S. R. Adubação orgânica e inorgânica de batatinha em solos arenosos: Produtividade, nutrientes na planta e lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.12, p.1228-1234, 2011.

OLIVEIRA, M. F. M. de et al. Estimativa do potencial de perda de fósforo através da metodologia “P Index”. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 14, n. 3, p.267-273, jan. 2010.

PINTO, Flávio Araújo. **Sorção e dessorção de fósforo em solos de cerrado**. 2012. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Jataí - Goiás, 2012.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. **GUIA DE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DE SOLO E FOLIAR**. Vitória - ES: Incaper, 2013. 104 p.

PRIMAVESI, A. M. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. NBL Editora, 2002.

RAIJ, B. V.. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo - SP: Agronômica Ceres Ltda, 1991. 343 p.

ROLIM NETO, F. C. et al. **Adsorção De Fósforo, Superfície Específica E Atributos Mineralógicos Em Solos Desenvolvidos De Rochas Vulcânicas Do Alto Paranaíba (MG): Seção II - Química E Mineralogia Do Solo**. 28. ed. [S.l.]:Revista Brasileira de Ciência do Solo, 953-964 p. 2004.

SANTOS, D. R.; COLPO GATIBONI, L.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, 2008.

SANTOS, J. C. B. Caracterização de neossolos regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, São Paulo - Sp, v. 36, n. 3, p.683-696, 2012.

SANTOS, J. Z. **TRANSPORTE DE FÓSFORO EM SOLO ARENOSO ADUBADO COM ESTERCO**. 2015. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba, Areia - Pb, 2015.

SCOPEL, I. et al. INFILTRAÇÃO DE ÁGUA E POTENCIAL DE USO DE SOLOS MUITO ARENOSOS NOS CERRADOS (SAVANAS) DO BRASIL. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia - Go, v. 33, n. 2, p.203-219, maio 2013.

SCHWERTMANN, U. **Differenzierung der eisen oxide des bodens durch extraktion unit saurer ammoniumoxalat-losung**. Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd, 105: 194-202, 1964.

SILVA, S. M. S. e et al. Características físicas e químicas de um Neossolo Regolítico Eutrófico do Agreste pernambucano. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, XXXIV., 2013, Florianópolis - SC. **Características físicas e químicas de um Neossolo Regolítico Eutrófico do Agreste pernambucano**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 1-4. Disponível em:<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/965331/1/caracteristicaquimicaefisica.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2017.

SIMS, J.T.; SIMARD, R.R.; JOERN, C.B. Phosphorus losses in agricultural drainage: Historical perspective and current research. **Journal Environmental Quality**. v.27, p.277-293, 1998.

SOUCHIE, E. L.; DE SOUZA ABBOUD, A. C. Solubilização de fosfato por microrganismos rizosféricos de genótipos de Guandu cultivados em diferentes classes de solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, 2007.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. Cap.5, p.205-275.

SOUZA, R.F.; FAQUIN, V.; TORRES, P.R.F. & BALIZA, D.P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:975-983, 2006.

TARKALSON, D. D.; LEYTEM, A. B. Phosphorus mobility in soil columns treated with dairy manures and commercial fertilizer. **Soil Science**, v.174, p.73-80, 2009.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. (UFRGS. Boletim Técnico; 5).

TOOR, G. S.; SIMS, J. T..Managing Phosphorus Leaching in Mid-Atlantic Soils: Importance of Legacy Sources. *Advancing Critical Zone Science*. P. 1-12, 2015.

VENDRAME, Pedro Rodolfo Siqueira; EBERHARDT, Diogo Néia; RODRIGUES, Osmar. Formas de ferro e alumínio e suas relações com textura, mineralogia e carbono orgânico em Latossolos do Cerrado Iron and aluminum forms and their relationship with texture, mineralogy and organic carbon in the Cerrado Oxisol. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 32, n. suplemento 1, p. 1657-1666, 2011.

WHITE, R. E.. *Princípios e práticas da ciência do solo*. 4. ed. São Paulo - Sp: Andrei Editora Ltda, 2009.

ANEXOS



Figura 07: Ensaio do deslocamento miscível de fósforo. 1: Solução salina de CaCl e KCl 0,001M ; 2: Coluna acrílica preenchida com solo; 3: Bomba peristáltica IPC Ismatec; 4: Coletor de fração.

Tabela 04: Caracterização química de quatro amostras de um Neossolo Regolítico arenoso com diferentes manejos de adubação com esterco bovino.

CARACTERÍSTICAS	A1	A2	B1	B2
pH (H ₂ O)	8,00	8,02	7,92	7,77
P ext (mg kg ⁻¹)	49,70	54,50	45,30	19,90
Pw (mg kg ⁻¹)	12,03	14,45	11,52	6,55
P lix (mg L)	85,61	128,83	91,69	40,38
H ⁺ (Cmolc kg ⁻¹)	7,32	7,35	5,07	7,66
Al ³⁺ (Cmolc kg ⁻¹)	0,09	0,10	1,04	1,46
Ca ²⁺ (Cmolc kg ⁻¹)	1,03	1,16	1,10	1,10
Mg ²⁺ (Cmolc kg ⁻¹)	0,35	0,29	0,34	0,12
K (mg kg ⁻¹)	140,5	150,2	71,8	178,0
Na (Cmolc kg ⁻¹)	0,003	0,003	0,007	0,011
M.O.S (dag kg ⁻¹)	2,44	2,27	2,41	3,01
SB (Cmolc kg ⁻¹)	5,91	6,30	3,77	7,00
CTC T (Cmolc kg ⁻¹)	13,32	13,75	9,88	16,12

CTC t (Cmolc kg⁻¹)	6,00	6,40	4,81	8,46
V %	44,38	45,83	38,14	43,43
M %	1,50	1,56	21,64	17,26
Fe_{ox} (mg g⁻¹)	0,307	0,165	0,287	0,267
Al_{ox} (mg g⁻¹)	0,522	0,316	0,316	0,061
Fe_{di} (mg g⁻¹)	0,511	0,494	0,781	1,33
Al_{di} (mg g⁻¹)	0,319	0,311	0,489	0,736

Pext (Fósforo extraível em Mehlich – 1); Pw (Fósforo solúvel em água); H + (Hidrogênio); Al³⁺ (Alumínio trocável); Ca²⁺ (Cálcio trocável); Mg²⁺ (magnésio trocável); K (potássio); M.O. (matéria orgânica); SB (soma de bases); CTC T (CTC total); CTC t (CTC efetiva); V% (Saturação por bases); M% (Saturação por alumínio); Fe ox (Ferro oxalato); Al ox (Alumínio oxalato); Fe di (Ferro ditionito); Al di (Alumínio ditionito)

Tabela 05: Caracterização física de quatro amostras de um Neossolo Regolítico arenoso, com diferentes manejos de adubação com esterco bovino.

CARACTERÍSTICAS	A1	A2	B1	B2
Areia (g kg⁻¹)	832	833	830	824
Silte (g kg⁻¹)	134	106	123	117
Argila (g kg⁻¹)	34	61	47	59
Relação Silte/Argila	3,94	1,74	2,84	1,98
Ds (g cm³)	1,43	1,49	1,46	1,39
Dp (g cm³)	2,55	2,65	2,60	2,66
Porosidade (%)	43,92	43,77	43,85	47,74
Classe Textural	Areia Franca	Areia Franca	Areia Franca	Areia Franca

Ds (densidade do solo); Dp (densidade de partículas). ; 1: Área adubada no ano de coleta; e 2: Área sem adubação no ano da coleta.